

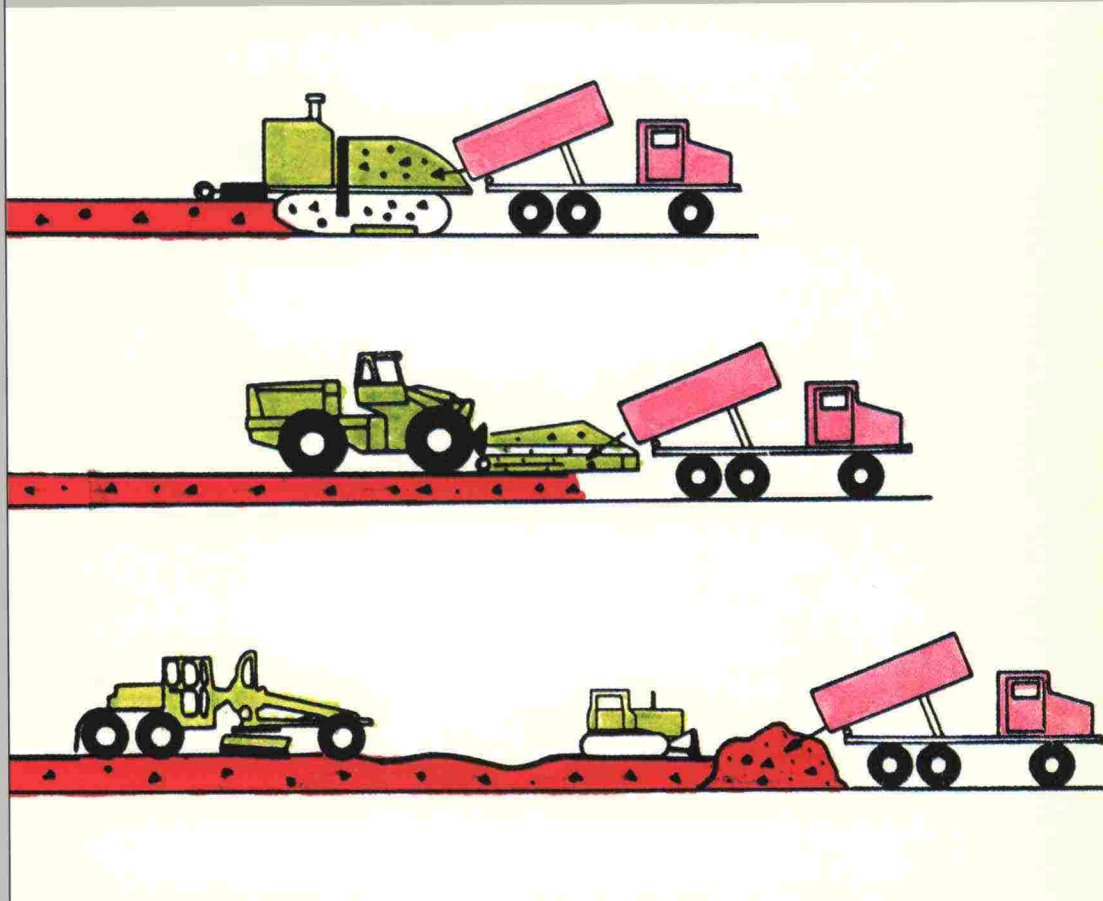


**Tielaitos**

Martti Heikkinen, Antti Piirainen, Veikko Puranen

# Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen

Murskeenlevittimen, levitinkelkan ja perinteisen menetelmän vertailu



Tielaitoksen  
selvityksiä

8/1993

Oulu 1993

Geokeskus  
Oulun  
kehitysyksikkö

Tuotannon  
palvelut  
Tampere

Keski-Suomen  
tiepiiri

Tielaitoksen selvityksiä  
8/1993

Martti Heikkinen, Antti Piirainen, Veikko Puranen

## **Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen**

Murskeenlevittimen, levitinkelkan ja perinteisen menetelmän vertailu

**Tielaitos**  
Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö  
Tuotannon palvelut, Tampere  
Keski-Suomen tiepiiri

Oulu 1993

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-47-6977-5  
TIEL 3200137  
Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1993

Julkaisua myy:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotevarasto  
Telefax (90) 1487 2698

**Tielaitos**

Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

Geokeskus,  
Oulun kehitysyksikkö  
Kansankatu 47  
PL 261  
90101 OULU  
Puh. (981) 310 9383

HEIKKINEN Martti, PIIRAINEN Antti, PURANEN Veikko, **Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen**, Oulu 1993, Geopalvelut Oulun kehitysyksikkö, Tuotannon palvelut Tampere, Keski-Suomen tiepiiri, Tielaitoksen selvityksiä 8/1993, 31 s, ISBN 951-47-6977-5, ISSN 0788-3722, TIEL 320 0135.

**Asiasanat** sitomattomat kerrokset, levitystyömenetelmät, kustannukset, laatu

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää saavutetaanko murskeiden levitykseen rakennetulla levittimellä parempi laatu pienemmällä materiaalimeneillä ja kustannuksella kuin perinteisellä menetelmällä.

Tutkimuksessa oli perinteisen menetelmän lisäksi kaksi toimintaperiaatettaan erilaista levitintä:

- tela-alustaisen asfalttilevittimen runkoon rakennettu, omalla moottorivoimalla kulkeva murskeenlevitin
- maansiirtokoneen lisälaitteeksi rakennettu levitinkelkka.

Levityskelkalla ja puskukoneella levitettiin # 0 - 45 mm:n soramursketta ja murskeenlevittimellä # 0 - 45 mm:n sora- ja kalliomurskeita. Osalle koealueista käytettiin teräsverkkoja. Levityskelkalla menetelmäkapasiteetti oli noin 400 m<sup>3</sup>rtr/h, murskeenlevittimellä noin 170 m<sup>3</sup>rtr/h ja puskukoneella noin 120 m<sup>3</sup>rtr/h. Materiaalihävikki tai materiaalin lisäyksen tarve oli puskukoneella noin 14 %, levityskelkalla noin 10 % ja murskeenlevittimellä noin 6 % teoreettisesta kokonaismenekistä.

Kokonaiskustannukset ovat kelkalla noin 4 % (54,49 mk/m<sup>3</sup>rtr) ja murskeenlevittimellä noin 6 % (53,27 mk/m<sup>3</sup>rtr) pienemmät kuin puskukoneella (56,54 mk/m<sup>3</sup>rtr). Lisäystöiden ja hävikin kustannukset olivat kelkalla 45 % (2,49 mk/m<sup>3</sup>rtr) ja levittimellä 72 % (1,27 mk/m<sup>3</sup>rtr) pienemmät kuin puskukoneella (4,54 mk/m<sup>3</sup>rtr).

Levitetyn kerroksen tasaisuus oli (IRI-)mittausten perusteella paras levitinkelkalla ja murskeenlevittimellä. Huonoin perinteisellä menetelmällä. Rakeisuusnäytteiden perusteella eri koeosuuksien rakeisuusvaihteluissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Pintalajittumaa mitattiin puskukonelevityksessä yli kymmenkertainen (7,7 % kokonaisalasta) määrä levittimiin verrattuna.

Laadullisesti molemmilla tutkimuksessa mukana olleilla levittimillä päästään huolellista työtapaa noudattaen lähes yhtä hyvään tulokseen. Sen sijaan materiaalimenekkien ja kustannusten suhteen itsekulkeva levitin on edullisin. Perinteinen menetelmä jää selvästi sekä laadun että kustannusten suhteen levittimiä epäedullisemmaksi.



## ALKUSANAT

Sitomaton jakava-/kantava kerros tehdään perinteisesti monen työvaiheen ketjuna, jossa levitettävää materiaalia liikutellaan ja sekoitetaan useaan kertaan ennen päällysteen tekoa. Tiehöylällä tai puskukoneella tapahtuvan tasauksen ja siirron eri vaiheissa materiaali hienonee ja lajittuu. Materiaalia kulkeutuu myös tieluiskiin hävikkinä.

Tienpitäjän kannalta laadulliset virheet, kuten lajittuminen, hienoneminen ja kerrospaksuuksien alitukset ovat vakavia, sillä ne johtavat rakenteen ennenaikaiseen väsymiseen ja aiheuttavat merkittäviä lisäkustannuksia.

Sitomattomien kerrosten tekoa asfaltinlevittimellä on kokeiltu. Työn laadullinen tulos on hyvä, mutta koneen nopea kuluminen on ollut esteenä menetelmän laajemmalle käyttöönotolle.

Aikaisempien Keski-Suomen tiepiirin ja Ruotsin tielaitoksen kokeiluissa saavuttamien hyvien kokemusten myötä käynnistyi vuoden 1991 lopulla projekti murskeiden levitykseen sopivan levittimen kehittämiseksi. Projekti toteutettiin siten, että urakoitsija veloitettiin suorittamaan parannettavan tien kantavan kerroksen lisäys tarkoitukseen sopivaa levitintä käyttäen.

Tarjousmenettely tuotti kaksi toimintaperiaatteeltaan erilaista levitintä, joita projektissa voitiin vertailla perinteiseen menetelmään.

Tutkimusta on johtanut DI Heikki Suni Oulun kehitysyksiköstä. Mukana ovat olleet Keski-Suomen tiepiiristä ins. Einari Poikonen, rkm. Veikko Puranen ja työmaapäällikkö Mikko Halonen. Projektiryhmään ovat kuuluneet myös DI Tuomo Kallionpää geopalvelukeskuksesta sekä rkm. Antti Piirainen Tampereen ja rkm. Martti Heikkinen Oulun kehitysyksiköstä.

Projektin tulosten täysimääräistä käyttöönottoa ja hyödyntämistä varten käynnistetään kaikki tiepiirit kattava koulutusprojekti vuoden 1993 aikana.

Oulussa tammikuussa 1993

Geopalvelut  
Oulun kehitysyksikkö

---

## SISÄLTÖ

---

1	JOHDANTO	9
2	TUTKIMUSJÄRJESTELYT	10
2.1	Tutkimuspaikka ja -aika sekä olosuhteet	10
2.2.	Tutkimusorganisaatio	10
3	TUTKIMUSMENETELMÄT	11
3.1	Yleistä	11
3.2	Ajankäytön mittaus	11
3.3	Työmäärien mittaus	11
3.4	Laboratoriomittaukset	11
3.5	Laadun arvostelu	11
3.6	Muut selvitykset	12
4	LEVITTIMET JA TYÖMENETELMÄT	13
4.1	Murskeenlevitin, itsekulkeva	13
4.2	Levityskelkka, työnnettävä	14
4.3	Perinteinen menetelmä	16
5	TUTKIMUSTULOKSET JA TARKASTELU	17
5.1	Ajankäytöt, kapasiteetit ja materiaalimenekit	17
5.2	Paksuuskokeilut	19
5.3	Työmenetelmien ja laitteiden tarkastelu	21
5.4	Kustannukset	22
5.5	Laatu	22
5.5.1	Rakeisuus	22
5.5.2	Kerrospaksuudet	25
5.5.3	Kerroksen leveydet	26
5.5.4	Tasaisuusmittaustulokset	27
5.5.5	Pintalajittumat	28
5.5.6	Silmämääräinen tarkastelu	29
5.6	Lisätyön tarve	30
5.7	Loppulause	31

## 1 JOHDANTO

Kantavan kerroksen tekemisessä perinteisin työmenetelmin on tullut paljon työvirheitä sekä kerrospaksuuksissa että levittämisen yhteydessä tapahtuvana lajittumisena. Ongelmat ovat korostuneet kalliomurskeilla ja materiaalin ollessa  $\# > 35$  mm. Levitettävää materiaalia joutuu hävikkinä pientareille ja luiskiin lisäten materiaalimenekkiä ja kustannuksia. Toistuvat oikomis- ja tasaamistyövaiheet ennen päällystämistä hienontavat materiaalia aiheuttaen rakenteen kestoiän lyhenemistä.

Aikaisemmissa Ruotsin tielaitoksen ja v. 1990 Keski-Suomen tiepiirissä tehdyssä tutkimuksessa todetaan, että käytettäessä levitintä kantavan kerroksen tekoon saavutettavat edut tulevat olemaan säästöt materiaalimenekissä, tasapaksuiset ja tasalaatuiset kerrokset sekä levitystyön kokonaiskustannusten aleneminen. (**Kerrosten laatuvirheiden esto, levitintutkimus. Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 1/1991.**)

Levitinmenetelmän yleisen käyttöönoton esteenä oli edelleenkin **murskeiden levitykseen tarkoitetun levittimen puuttuminen markkinoilta**. Niinpä tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin organisoida sitomattomien rakennekerrosten levitykseen tarkoitetun levittimen laitekehittely sekä selvittää saavutetaanko sillä perinteiseen menetelmään verrattuna laadullisesti ja kustannuksiltaan edullisempi lopputulos.

Selvityksen suorittamiseksi perustettiin työryhmä, joka Keski-Suomen tiepiirin tienparannushankkeen, kt 77 välillä Kyyjärvi - Hilmonlahti, toteuttamisessa ideoi urakkamenettelyn, jossa urakoitsija velvoitettiin suorittamaan kerroksen lisäys tarkoitukseen sopivaa murskeenlevitintä käyttäen.

Vertailututkimukseen saatiin kaksi toimintaperiaatteeltaan erilaista murskeenlevitintä; toinen itsekulkeva telavetoinen ja toinen työnnettävä kelkka-tyyppinen levitin.

Tutkimus suoritettiin kesän 1992 aikana, tulosten käsittely ja analysointi syksyllä 1992.



## 2 TUTKIMUSJÄRJESTELYT

### 2.1 Tutkimuspaikka ja -aika sekä olosuhteet

Kohde sijaitsi kantatiellä nro 77 välillä Kyyjärvi - Hilmonlahti. Tien keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on noin 600 ajoneuvoa/vrk. Levitettävän kerroksen tavoitevahvuus vaihteli 10 - 15 cm ja leveys 7,40 - 7,60 m. Tutkimus suoritettiin 22.7. - 18.8.1992. Tutkimuksen aikainen säätila vaihteli aurinkoisesta sateeseen ja se jossain määrin häiritsi tutkimuksen suorittamista. Levitettävän kerroksen alla oleva jakava kerros pyrittiin saamaan vaatimuksen mukaiseen muotoon ja tasoon, mikä työmaan toimesta mitattiin oikolaudalla. Materiaalia levitettiin myös lujitteena käytettyjen teräsverkkojen päälle. Tielle levitettävä materiaali oli 0 - 45 mm:n soramursketta varastoituna kahteen noin 6 m:n korkuiseen kasaan. Materiaalin kuormaus suoritettiin kaivukoneella 1 - 2 m:n kerroksina pyrkien eliminoidaan kasoihin syntyneet lajittumat. Soramurskeen lisäksi tutkimukseen sisältyi yksi koealue 0 - 45 mm:n kalliomurskeesta.

### 2.2 Tutkimusorganisaatio

Kenttätöihin osallistuivat seuraavat henkilöt:

- rkm Martti Heikkinen Tielaitos/Oulun kehitysyksikkö
- rkm Antti Piirainen Tielaitos/Tampereen kehitysyksikkö
- rkm Veikko Puranen Keski-Suomen tiepiiri
- ylösottaja J. Puranen Keski-Suomen tiepiiri
- laborantti T. Hyvönen Keski-Suomen tiepiiri
- mittamies M. Herttilä Keski-Suomen tiepiiri.

### 3 TUTKIMUSMENETELMÄT

#### 3.1 Yleistä

Selvitys tehtiin lisäaikatutkimuksena siten, että eri levitysmenetelmillä levitettiin kantavan kerroksen materiaalia ennalta sovituille koeosuuksille. Perinteisellä menetelmällä ja levitinkelkalla levitettiin soramursketta. Murskeenlevittimellä levitettiin kolmella koeosuudella soramursketta ja yhdellä kalliomursketta. Levitinkelkalla ja murskeenlevittäjällä kokeiltiin niiden soveltuvuutta eri paksuisten kerrosten levittämisessä. Levitettävä materiaali pyrittiin saamaan levityskohteelle mahdollisimman tasalaatuisena (kuorma- ja kuljetus).

#### 3.2 Ajankäytön mittaus

Menetelmä- ja työvuoroaika (T2 ja T3) mitattiin 1 min: n tarkkuudella jatkuvana ajankäyttönä normaalilla kellolla. Yhtä kuormaa vastaava perusaika (T1) mitattiin laitetta kohti useampaan kertaan.

#### 3.3 Työmäärien mittaus

Työmäärät mitattiin neliömetreinä työmaan mittapaalutuksesta ja tilavuuksina auton lavalta arvioiden  $0,1 \text{ m}^3$ : n tarkkuudella. Kerrokseen asennettujen teräslevyjen kohdilta mitattiin kerrospaksuudet. Lisäksi mitattiin rakennetun kerroksen leveys 20 m:n välein. Koeosuuksittain toteutunutta materiaalin menekkiä verrattiin teoreettiseen menekkiin.

#### 3.4 Laboratoriomittaukset

Kerroksen paksuuden mittausta varten koeosuuksille asetettiin 38 - 60 kpl peltisiä laattoja, mitkä määräytyivät Lotus 1-2-3 ohjelman (3.1+) @ RAND-funktiolla saaduista satunnaiskertoimista. Laattojen kohdalta mitattiin tiivistetyn kerroksen paksuus. Materiaalinäytteitä otettiin samoista pisteistä. Näytteenottopaikoissa seurattiin silmämääräisesti mahdollista lajittuneisuutta kerroksessa pystysuunnassa.

Materiaalin kosteutta ja tiiviyyttä seurattiin Troxler-mittarilla. Materiaali pyrittiin pitämään kasakastelun tai tarvittaessa tielle tapahtuvan kastelun avulla optimikosteudessa ( $\pm 2 \%$ ).

#### 3.5 Laadun arvostelu (lajittuma ja tasaisuus)

Levitetyn kerroksen pintalajittumaa tarkasteltiin silmämääräisesti ja lajittumakohdat mitattiin neliömetreinä kahden tutkijan läsnäollessa.

Kantavan kerroksen tasaisuus mitattiin tiivistämisen jälkeen VTT:n tai Hämeen tiepiirin tasaisuusmittausautolla. Tasaisuuden tarkastelussa on käytetty ns. laatuohjelmaa.



### 3.6 Muut selvitykset

Pyrittiin selvittämään kantavan kerroksen levitystyön jälkeinen lisätyön tarve, eli kuinka paljon tarvitaan lisätausta ja -muotoilua ennen kuin tehty kerros oli valmis päällystettäväksi.

Tutkimuksen aikana oli tarkoitus seurata kantavan kerroksen rakentamisen ja välittömästi tapahtuvan päällystämisen tahdistusta ja siihen mahdollisesti liittyviä ongelmia. Selvitys ei onnistunut, koska päällystysurakoitsija ei ollut sama kuin kantavan kerroksen levittäjä ja kantava kerros rakennettiin noin viikkoa ennen päällystämistä.

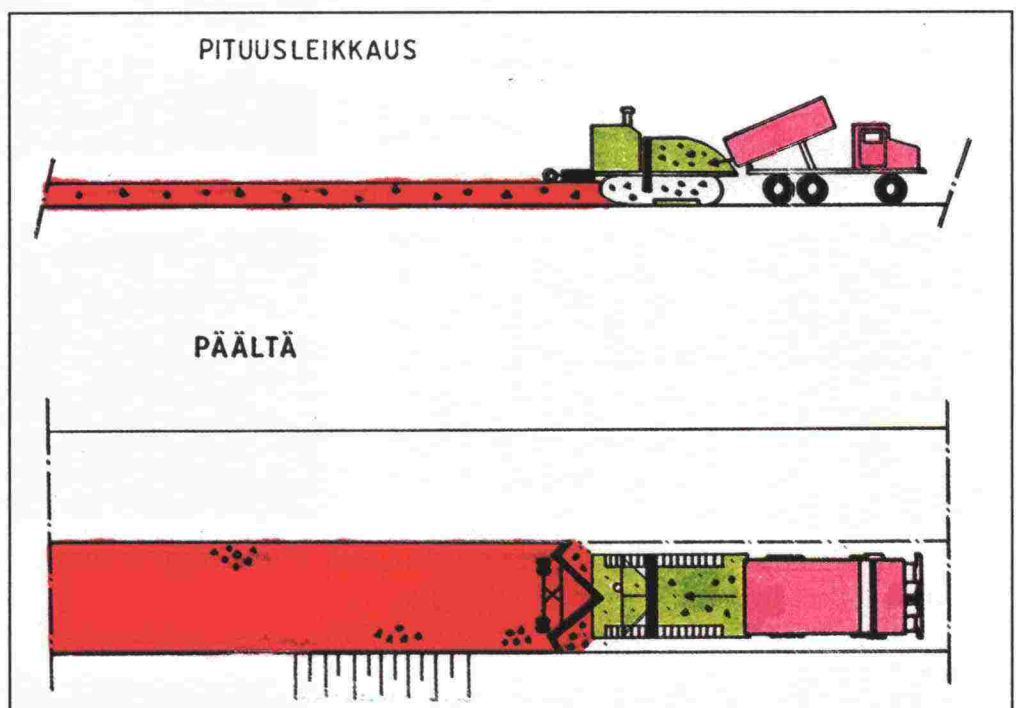
## 4 LEVITTIMET JA TYÖMENETELMÄT

### 4.1 Murskeenlevitin, itsekulkeva

Levitin on rakennettu tela-alustaisen asfaltinlevittimen runkoon, mikä on varustettuna kartion muotoisella pohjasta aukiolevalla syöttösiilolla. Siilosta materiaali ohjataan viiden säädettävän luukun avulla auran muotoiselle levitinpalkille. Levitysleveyttä voidaan hydraulisesti säädellä 2,50 - 4,50 m:iin ja paksuutta 5 - 25 cm:iin. Poikkikaltevuus on säädettävissä ja laitteen voidaan lisätä tärypalkki esitiivistystä varten.



Kuva 1: Murskeenlevitin vinosti takaa nähtynä



Kuva 2: Kaaviokuva murskeenlevittimen työmenetelmästä

## Työmenetelmä

Materiaali kipattiin kuorma-autosta levittimen syöttösiiloon ja levitettiin tasapaksuna ja -levyisenä kerroksena puoli tietä kerrallaan noin 500 m:n jaksoissa. Kerros tiivistettiin välittömästi levityksen jälkeen kahdeksan tonnin 2-valssitärjyillä. Tarvittaessa pinnan kastelu suoritettiin vesitraktorilla.

### 4.2 Levitinkelkka, työnnettävä

Levitin on kehitetty maansiirtokoneen lisälaitteeksi. Se on kiinnitettyinä pyöräkuormaajan nostovarsiin. Laitteessa on pohjasta avoin syöttösiilo, josta materiaali siirtyy leikkausterän avulla 2,50 - 4,00 m:n levyiseksi kerrokseksi. Laitteen korkeusasemaa säätämällä työkoneen ohjaamosta saadaan haluttu kerrospaksuus ja poikkikaltevuus. Maksimikerrospaksuus on noin 15 cm. Esitiivistys tapahtuu rinnakkain asennetuilla viidellä pyörällä.

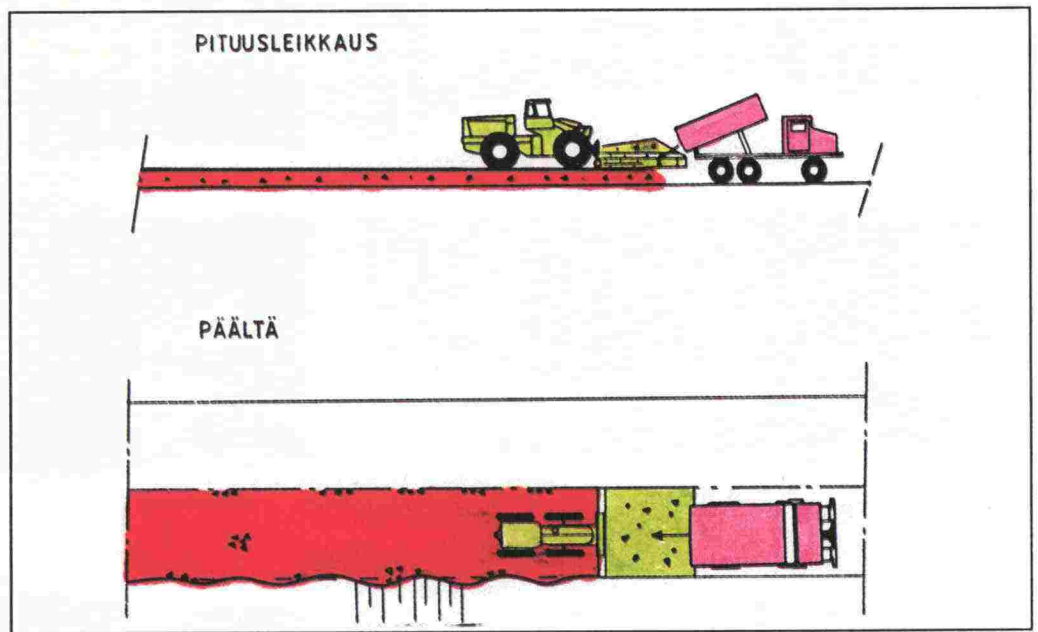


Kuva 3: Maansiirtokoneen lisälaitteeksi kehitetty levitinkelkka

## Työmenetelmä

Menetelmä on vastaavanlainen kuin murskeenlevittimellä. Laitteen hyvän liikuteltavuuden ansiosta voidaan yli 15 cm:n rakenne tehdä useampana kerroksena ja lyhyinä jaksoina, jolloin keskisauma ei ehdi liikenteen vaikutuksesta menettää muotoaan. Tiivistys suoritettiin välittömästi levityksen jälkeen kuten murskeenlevittäjälläkin.





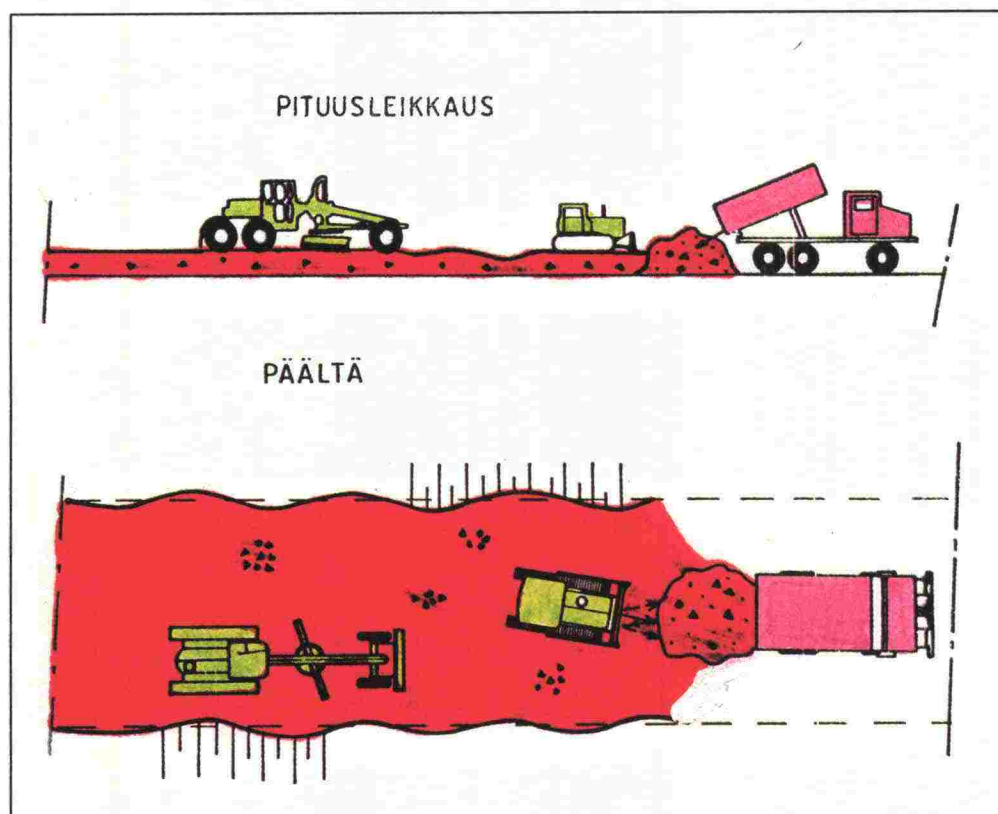
Kuva 4: Kaaviokuva levitinkelkan työmenetelmästä

### 4.3 Perinteinen menetelmä

Levitettävä materiaali tuotiin paikalle kuorma-autolla ja vedettiin tielle matoksi. Lopulliselle paikalleen murske siirrettiin ja tasattiin takapuskulevyllä ja alustaterällä varustetulla pyörätraktorilla. Pinnan tasaaminen suoritettiin tiehöylällä. Kerrosta kasteltiin vesitraktorilla ja tiivistettiin täryjyrällä.



Kuva 5: Perinteisen menetelmän mukaiseen levitykseen käytetty pyörätraktori.



Kuva 6: Kaaviokuva perinteisestä työmenetelmästä.



## 5 TUTKIMUSTULOKSET JA TARKASTELU

### 5.1 Ajankäytöt, kapasiteetit ja materiaalienekit

Taulukko 1: Mitatut tulokset ja menekit koealueittain.

Laji/yks.	Perinteinen	Levitinkelkka	Murskeenlevitin				
	SrM 10 cm	SrM 10 cm	SrM 10 cm	SrM 10 cm	Yht/ka	KaM 15 cm	SrM 15 cm
T2-aika min	529,0	90,0	176,0	214,0	390,0	102,0	107,0
T3-aika min	612,0	303,0	362,0	281,0	643,0	487,0	209,0
Työmäärä m <sup>3</sup> rtr	1050,5	592,0	592,0	518,0	1110,0	570,0	615,6
Työmäärä m <sup>2</sup>	10505,0	5920,0	5920,0	5180,0	11100,0	3800,0	4104,0
K1-kap. m <sup>2</sup> /h	1550,0	6740,0	-	2467,0	2467,0	3197,0	3179,0
K2-kap. m <sup>3</sup> rtr/h	119,1	394,7	201,8	145,2	173,5	335,3	345,2
K3-kap. m <sup>3</sup> rtr/h	103,0	117,2	98,1	110,6	104,4	70,2	176,7
Hävikki/ lis.tarve l/tie-m	102	77	53	42	48	39	54

Ylösoton mukaan materiaalia ajettiin 5 162,5 m<sup>3</sup>itd, joista tuli rakenneteoreettisia 3 938,1 m<sup>3</sup>rtr, joten  $k_2 \times y_2 \sim 0,76$  (yl.  $\sim 0,70$ ).

T1-aika = Perusaika, perusaikana kone suorittaa sellaista työsuorituksen osaa, joka toistuu koneella lähes kaikilla työmenetelmillä työtä tehtäessä ja joka on koneen varsinaisen perustuksen aikaa.

T2-aika = Menetelmäaika eli koneen tietyllä työmenetelmällä varsinaiseen työsuoritukseen käyttämä aika.

TL2-aika = Työvuoron lisäaika eli koneen työskentelyssä syntyvä alle tunnin pituinen työpaikan olosuhteista johtuva työskentelyn keskeytys.

T3-aika = Työvuoroaika eli menetelmäjän ja työvuoron lisäaikojen summa.

Kapasiteetit K1, K2 ja K3 lasketaan edellä selostettujen aikojen ja mitattujen työmäärien perusteella.

### TARKASTELU

#### Ajankäyttö

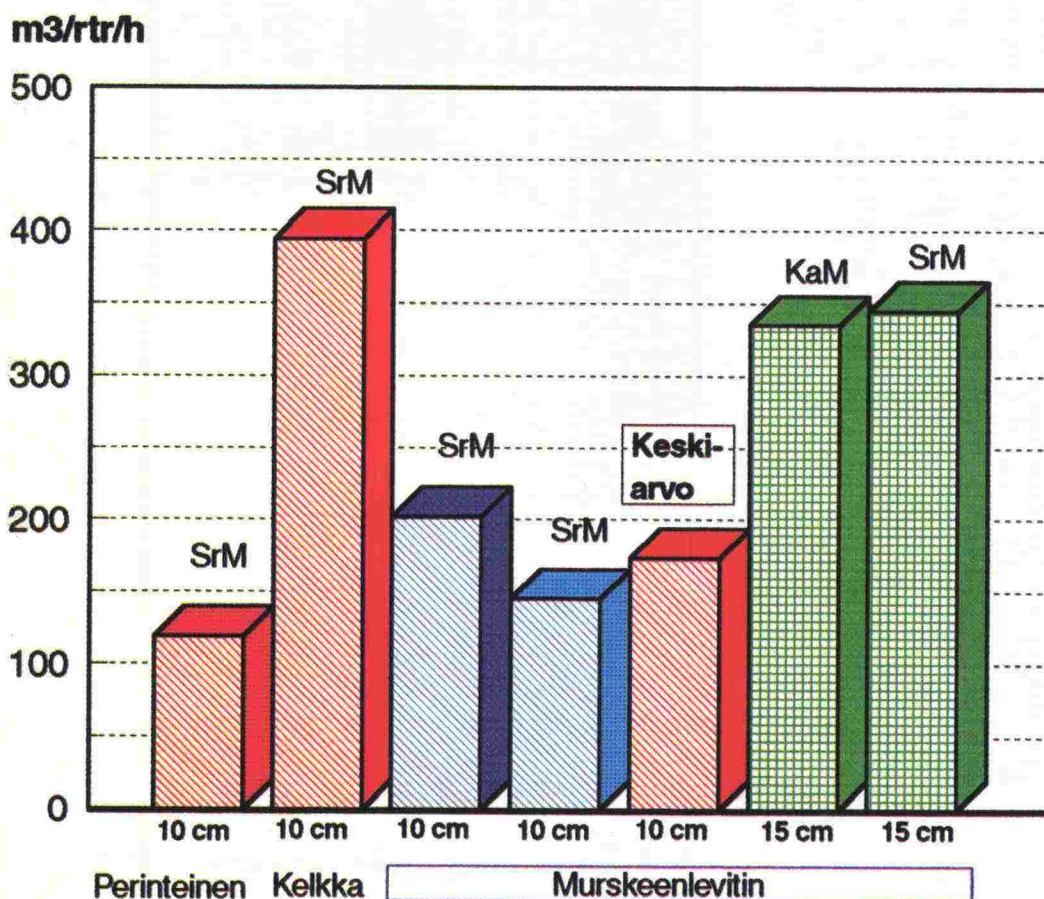
Koealuekohtaisessa kokonaisajankäytössä on huomattavia eroja, mikä johtuu eri pituisista koejaksoista. Sen sijaan menetelmä- (T2) ja työvuoroaikojen (T3) väliseen eroon on syynä lähes jatkuva autojen puute. Ainoastaan perinteisellä menetelmällä on päästy kohtuulliseen lisäaikojen osuuteen.

#### Kapasiteetit

Laite/metodivertailua kuvaa parhaiten metodimäkapasiteetti (K2). Kuvan nro 7 mukaan parhaimman tuloksen on saavuttanut levitinkelkka ja heikoin tulos on perinteisellä menetelmällä.

Murskeenlevittimen kapasiteetit asettuvat edellisten väliin. Kapasiteettierot 10 cm:n ja 15 cm:n kerrosten välillä ovat suuria, mikä ei yksin omaan johtune vahvemmassa kerroksesta vaan myös kuljettajien (autoilijat mukaan lukien) harjaantumisesta.

Levitinkelkan suuresta kapasiteetista on hyötyä silloin, kun on sekä suuri tehontarve että kuljetuskalustoa riittävästi. Samoin kelkan suuresta kapasiteetista on hyötyä silloin, kun rakenne on yli 15 cm:n vahvuinen ja se tehdään useampana kerroksena.



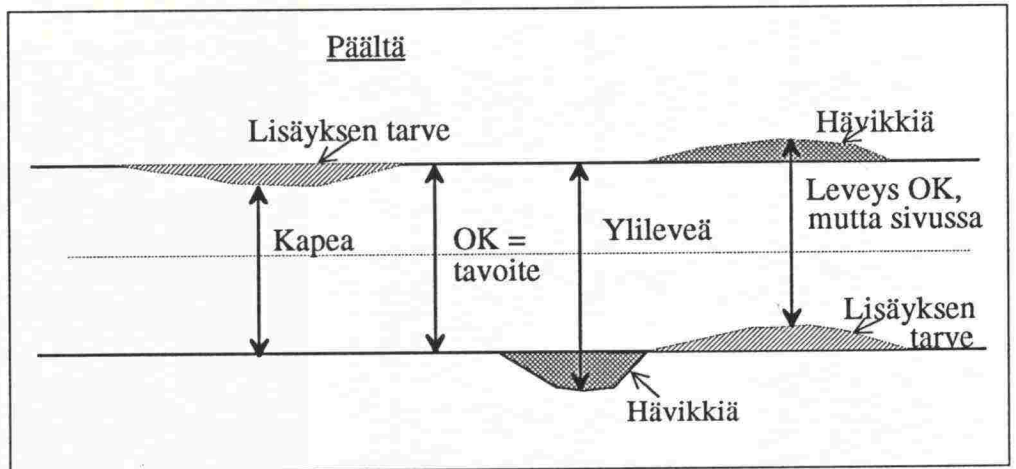
Kuva 7: Menetelmäkapasiteetit (K2) koealueittain.

### Materiaalimenekit

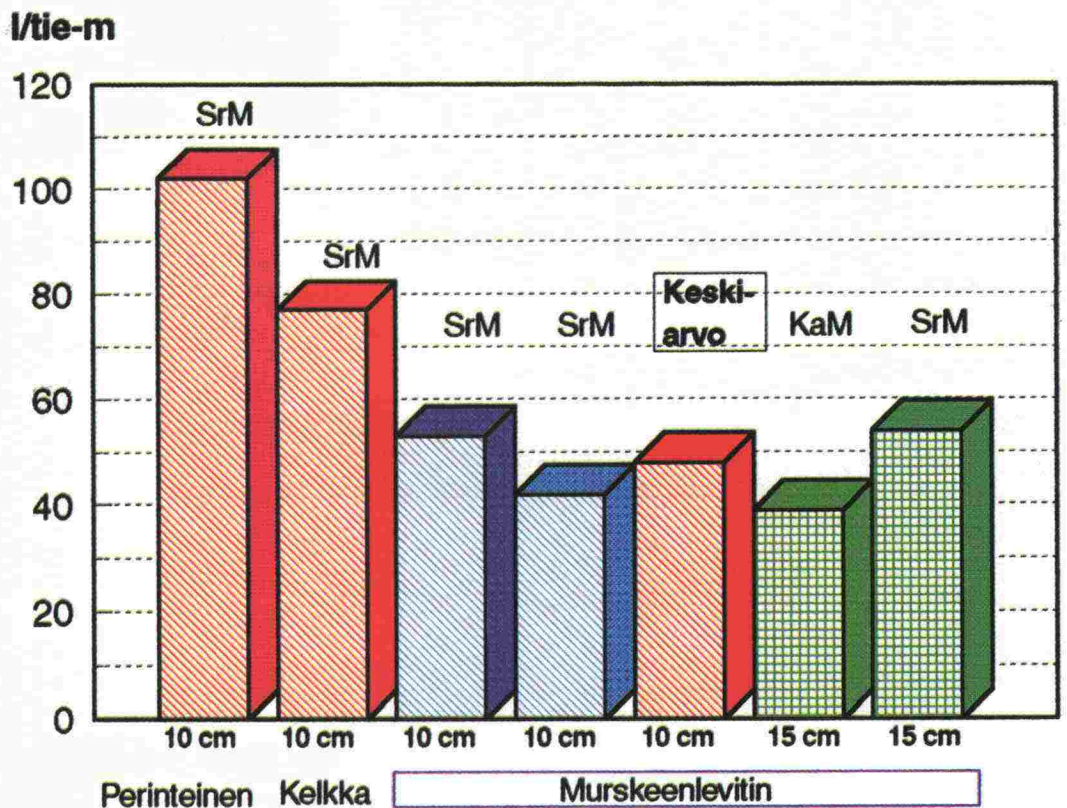
Materiaalihävikeistä/lisäystarpeista voidaan todeta, että ne ovat perinteisellä menetelmällä yli kaksinkertaiset ja kelkalla noin puolitoistakertaiset murskeenlevittimeen verrattuna (kuva nro 9).

Perinteisen ja kelkkamenetelmän epätarkkuuteen vaikuttaa korkeuden ja leveyden ylitykset sekä reunojen epätarkkuus. Lisäksi epätarkka reunojen merkintä voi aiheuttaa hajontaa, mikä koskee kaikkia laitteita ja velvoittaa työmaata huolelliseen merkitsemiseen. Lisäksi materiaalimenekkiin vaikuttaa pohjien tasaisuus, mikäli ne eivät ole työselityksen mukaiset.





Kuva 8: Kaaviokuva yleisimmistä virheistä.



Kuva 9: Materiaalihävikki/lisäystarve koealueittain.

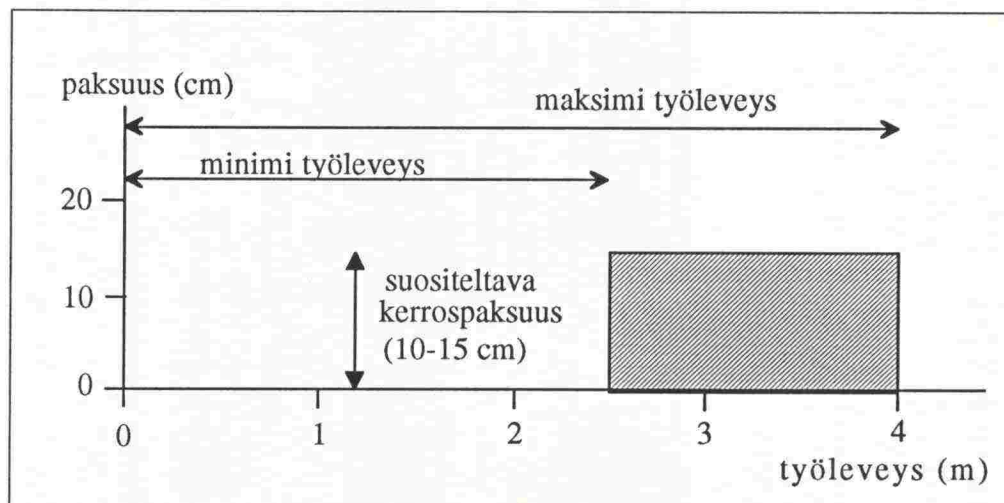
## 5.2 Paksuuskokeilut

Levitinkelkalla ja murskeenlevittäjällä kokeiltiin niiden soveltuvuutta eri paksuisten kerrosten levittämisessä.

### Levitinkelkka

Maksimi kerrospaksuus, millä levittäjä toimii vielä hyvin, on noin 15 cm:n kerros (SrM 0 - 45 mm, tiivistetty vahvuus). Ko. paksuudella saavutettiin työleveys noin neljä metriä. Paksumpi rakenne kannattaa levittää useampa-

na kerroksena. Laitteen suuri levityskapasiteetti edesauttaa useamman kerroksen tekemistä. Levitinkelkalla saavutetaan paras levitystulos kerrospaksuuden ollessa noin 10 - 15 cm.

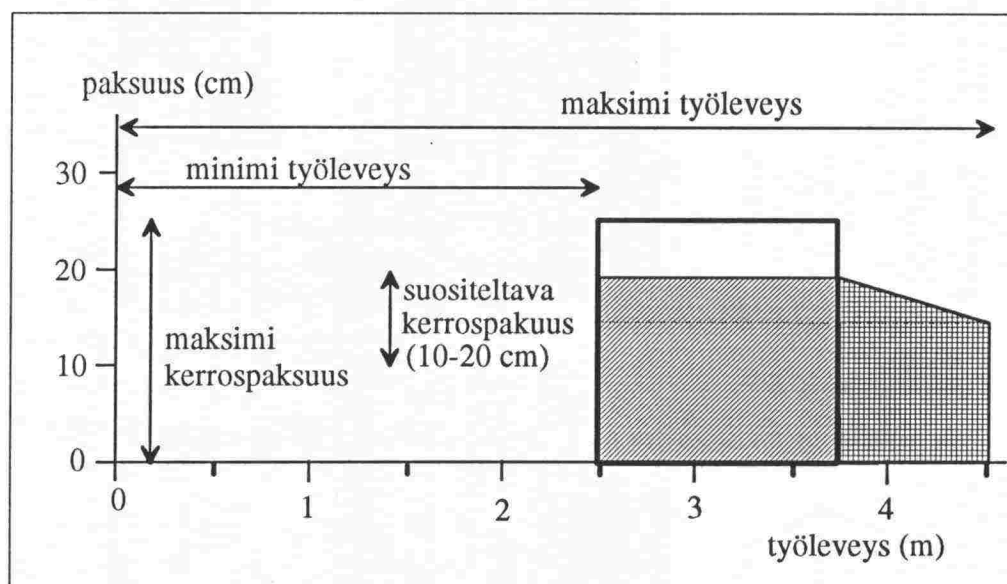


Kuva 10: Levitinkelkan kerrospaksuus ja työleveys.

### Murskeenlevitin

Levittimellä kokeiltiin eri paksuisten kerrosten levittämistä materiaalin ollessa soramursketta 0 - 42 mm. Työleveyden ollessa 3,70 m maksimi kerrospaksuudeksi saatiin 25 cm (tiivistetty paksuus).

Maksimi työleveydellä 4,50 m voitiin levittää laatua huonontamatta 15 cm:n kantava kerros (tiivistetty paksuus). Käytännössä murskeenlevittimen optimaalisin levityspaksuus on tiivistettynä noin 15 - 20 cm. Minimikerrospaksuus on noin 10 cm tai vähintään levitettävän materiaalin raekoko puolitoistakertaisena.



Kuva 11: Murskeenlevittimen kerrospaksuus ja työleveys



### 5.3 Työmenetelmien ja laitteiden tarkastelu

#### Murskeenlevitin

- \* Laite soveltuu jakavan ja kantavan kerroksen materiaalien levittämiseen.
- \* Huolellista työtapaa noudattaen laitteella saadaan välittömästi päällystettäväksi kelpaava kantava kerros.
- \* Levittimen käyttö vaatii kuljettajalta ammattitaitoa. Kuljettajan lisäksi työryhmään tulee kuulua vähintään yksi perämies.
- \* Esisäätöluukkujen säädöillä pystyttiin korjaamaan mahdollista kuljetuslajittumaa.
- \* Menetelmässä käytettiin ohjauslankaa, minkä ansioista saatiin reunat tasaisemmiksi.
- \* Tutkimuksen aikana laitteessa ei ollut tiivistyspalkkia, mutta tarvittaessa se on kytkettävissä levittimen perään.
- \* Teräsverkkojen päällä levittimen telaketjut saattoivat irrottaa teräsverkkojen sidelankoja.

#### Levitinkelkka

- \* Laite soveltuu jakavan ja kantavan kerroksen materiaalin levittämiseen.
- \* Laitteen parhaita puolia ovat hyvä liikuteltavuus ja kapasiteetti silloin, kun peruskoneena on pyöräalustainen kone.
- \* Ongelmia esiintyi mm. reunojen epätasaisuudessa ja keskisauman yhteensovittamisessa.
- \* Levitinkelkka vaatii suurehkon peruskoneen.
- \* Materiaalin kippausvaiheessa kelkka saattoi "niiata" eteenpäin epätasaisen kuormituksen takia, jolloin kelkan etuosa raapaisi teräsverkkoihin tai edellisiin rakennekerroksiin. Samalla rakennettavaan kerrokseen saattoi syntyä pieni heitto.
- \* Liian suurella kapasiteetilla laite pyrki lajittamaan materiaalia reunoille.
- \* Laitteessa on vielä tuotekehittelyä mm. ajolinjan tarkkailun parantamiseksi.

#### Perinteinen menetelmä

- \* Menetelmällä on vaikea saada tasapaksuisia ja -levyisiä kerroksia.
- \* Menetelmä aiheuttaa herkästi lajittumaa, koska yleensä pyritään suuremman kapasiteetin takia kuorma purkamaan vetämällä se tielle matoksi. Lajittumaa voitaisiin vähentää kippaamalla materiaali jo rakennetulle kerrokselle ja levittämällä se ristiintyöntäen.
- \* Teräverkkojen päälle levittäminen ei tuonut ongelmia kerrospaksuuden ollessa vähintään 10 cm.



## 5.4 Kustannukset

Taulukko 2: Laitekohtaiset välittömät kustannukset.

Laji	Kustannus mk/m <sup>3</sup> rtr		
	Perinteinen	Kelkka	Murskeenlevitin
Kuljetus + konetyöt	28,00	28,00	28,00
Materiaalit	24,00	24,00	24,00
Hävikki/lisäystarve	3,34	2,49	1,26
Lisätyöt	1,20	-	0,01
Yhteensä	56,54	54,49	53,27

Laitekustannukset on laskettu urakoitsijoiden antamien yksikköhintojen perusteella. (Hintoihin sisältynee laitteiden kuoletus- ja pääomakustannukset). Materiaalin lähtöhintana on käytetty työmaan keskimääräistä yksikköhintaa kaikkien laitteiden kohdalla.

Edellä olevaan perustuen välittömät kustannuserot jäävät vähäisiksi, mutta hävikistä/lisäystarpeesta johtuen perinteinen menetelmä on muita kalliimpi. Ennen päällystämistä suoritettua käsittelyä ei ole huomioitu, koska sitä ei voitu erottaa liikenteen aiheuttamasta kunnossapidosta ja on kaikilla lähes saman suuruinen.

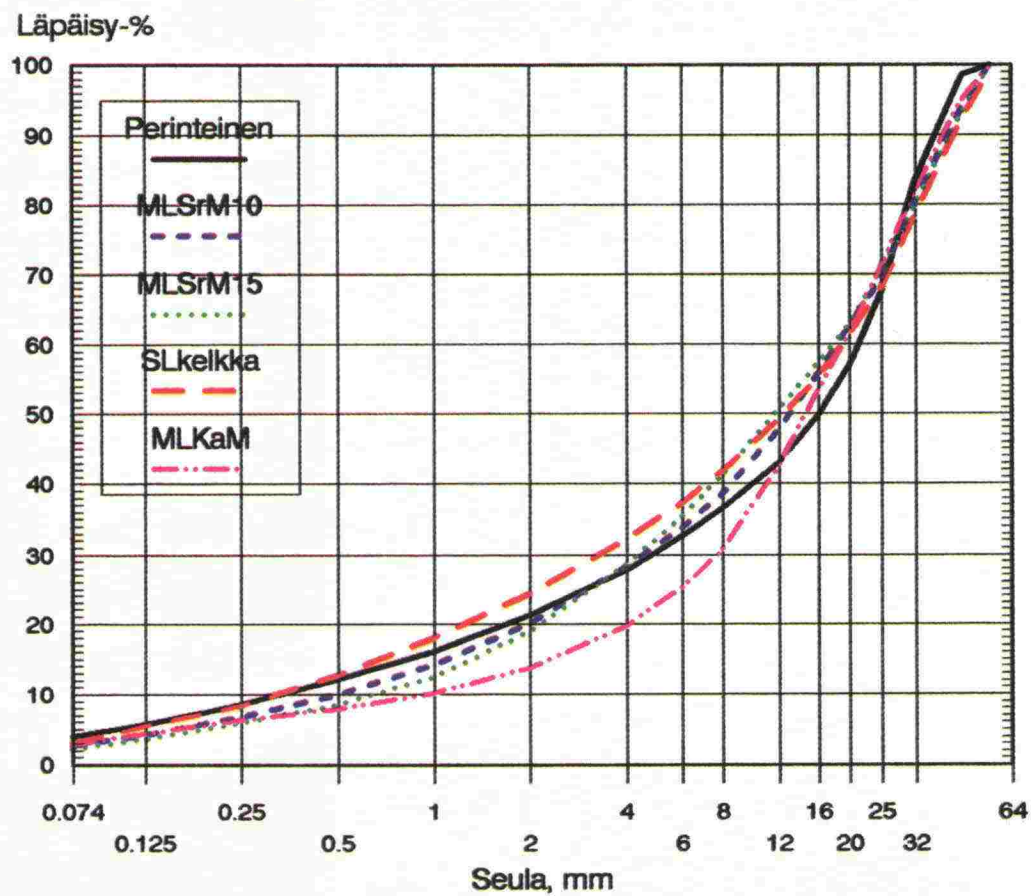
## 5.5 Laatu

### 5.5.1 Rakeisuus

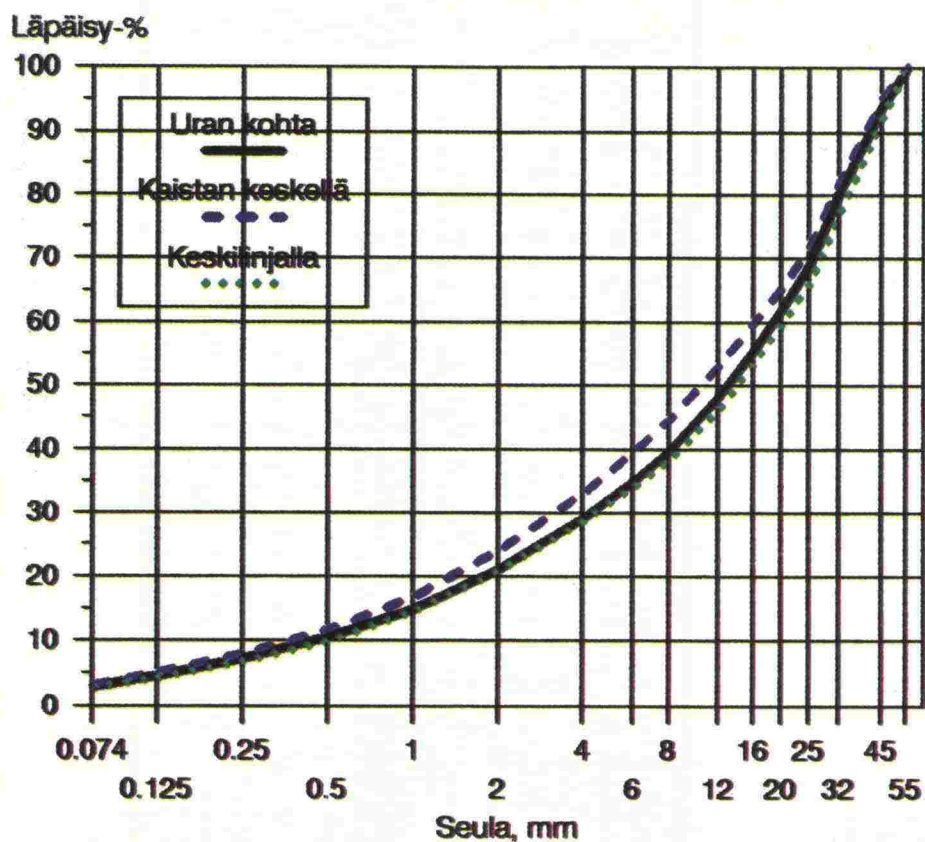
Reunauran kohdalta eli 0,7 m etäisyydeltä tien reunasta otettujen näytteiden keskimääräiset rakeisuudet eri koeosuuksilla on esitetty kuvassa 12. Silmämääräisesti arvioituna eri koeosuuksien rakeisuudet eivät kalliomurskeesta tehtyä koeosuutta lukuunottamatta poikkea kovinkaan paljoa toisistaan. 0,074 mm:n läpäisy-% on kuitenkin muilla koeosuuksilla tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin perinteisen koeosuuden.

Poikittaissuuntaisen mahdollisen systemaattisen lajittuman selville saamiseksi näytteitä otettiin reunauran lisäksi myös toisesta urasta, kaistan keskeltä ja keskilinjalta. Koska koeosuuksittain muualta kuin reunauran kohdalta otettiin vain muutama näyte, yhdistettiin tässä tarkastelussa kaikki soramurskeosuudet. Kuvan 13 perusteella hienoainespitoisuus on poikkeileikkauksen eri kohdissa aivan yhtä suuri, mutta suuremmilla seuloilla kaistan keskikohdan rakeisuuskäyrä kulkee korkeammalla. Kalliomurskeosuudella vastaavaa ei ollut havaittavissa, joten ero voi johtua sattumasta.

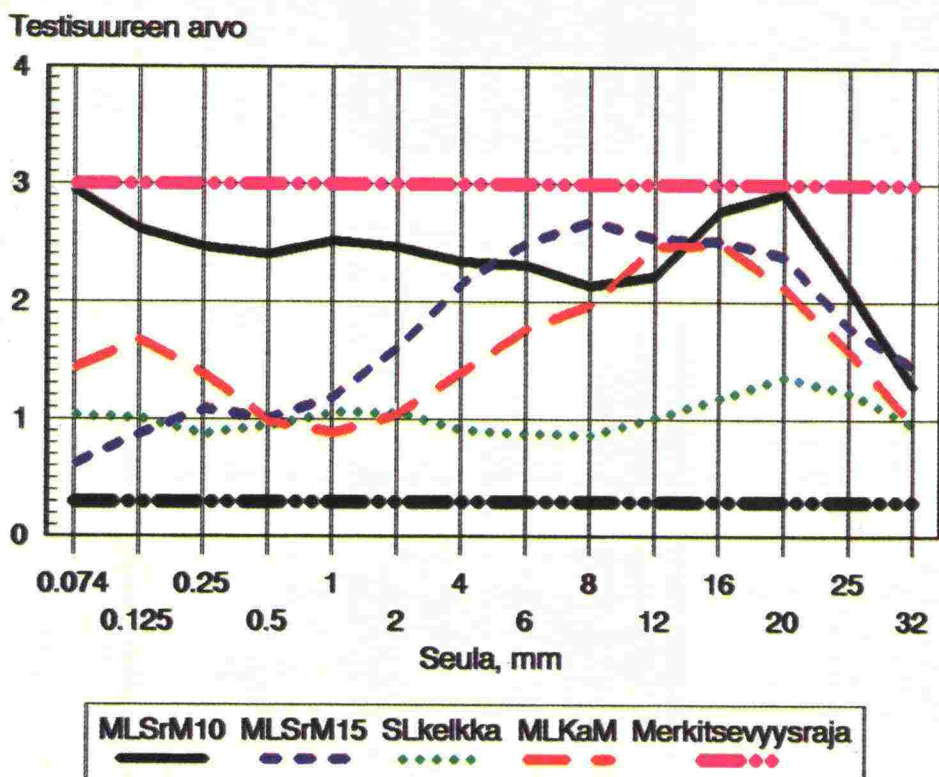
Keskihajontojen erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä kuten voi päätellä kuvassa 14 esitetystä testisuureiden  $s_1^2/s_2^2$  arvojen vertailusta F-jakautuman 99 %:n merkitsevyystasoa ja näytemäärää 20 vastaaviin arvoihin.



Kuva 12: Reunauran kohdalta otettujen näytteiden keskimääräiset rakeisuudet koeosuuksittain.



Kuva 13: Keskimääräiset rakeisuudet poikkileikkauksen eri kohdissa soramurskesosuuksilla.



Kuva 14: Perinteiden ja muiden koosuuk-sien erilaisten rakeisuusvaihteluiden tilastollinen merkitsevyys.



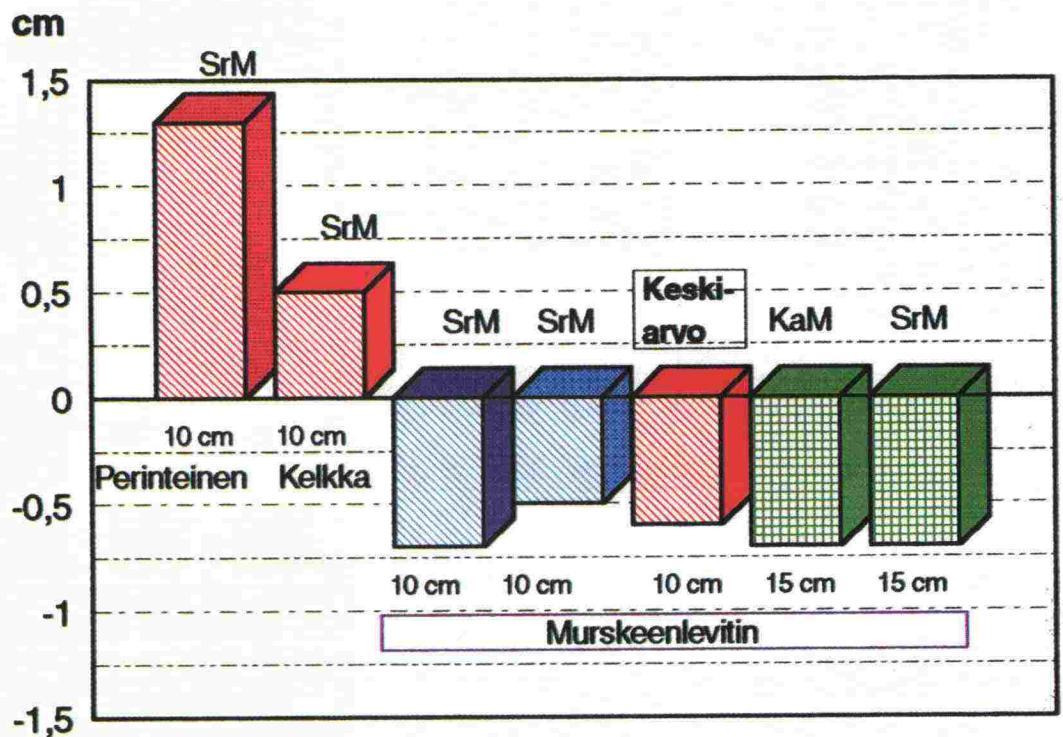
### 5.5.2 Kerrospaksuudet

Kerrospaksuudet mitattiin näytteenottopisteistä (38-60 kpl/koealue.), mitkä määräytyivät Lotus 1-2-3 ohjelman (3.1+)-@ RAND-funktiolla saaduista satunnaislukukertoimista. Mittaukset suoritettiin tiivistämisen jälkeen.

Taulukko 3: Rakennetun kerroksen paksuus koealueittain.

Pvm	Menetelmä/ laite		Tavoite (cm)	Mittaus- piste (kpl)	Vaihtelu- alue (cm)	Ka (cm)	Hajonta ± (cm)
22.7.	Perinteinen	SrM	10	60	6,0-15,2	11,3	2,48
31.7.	Levitinkelkka	SrM	10	38	8,5-13,2	10,5	1,15
3.8.	Murskeenlevitin	SrM	10	38	6,0-12,2	9,3	1,32
12.8.	Murskeenlevitin	SrM	10	38	7,0-12,2	9,5	1,21
18.8.	Murskeenlevitin	KaM	15	38	12,0-17,5	14,5	1,24
18.8.	Murskeenlevitin	SrM	15	38	9,0-17,0	14,3	1,47

Mitattujen paksuuksien hajonta ja keskimääräinen paksuus perinteisen menetelmän osuudella on suurin, mikä on tyypillistä ko. menetelmälle. Sen sijaan kelkkaosuudella on päästy suhteellisen lähelle tavoitetta ja hajontakin on pienin. Murskeenlevittimellä on keskimäärin jatkuva alitusta ja hajontaa aika paljon. Tämä voi johtua osin väärin arvioidusta tiivistymisasteesta ja/tai pienistä kuormista sekä pohjien epätasaisuudesta silloin, kun menekkiä seurataan pinta-alan mukaan. Paikoin pohjissa saattoi esiintyä epätasaisuutta silloin, kun revitty ja muotoiltu öljysora ehti uudelleen tiivistyä ennen kantavan kerroksen levittämistä.



Kuva 15: Kerrospaksuuksien keskimääräinen poikkeama.

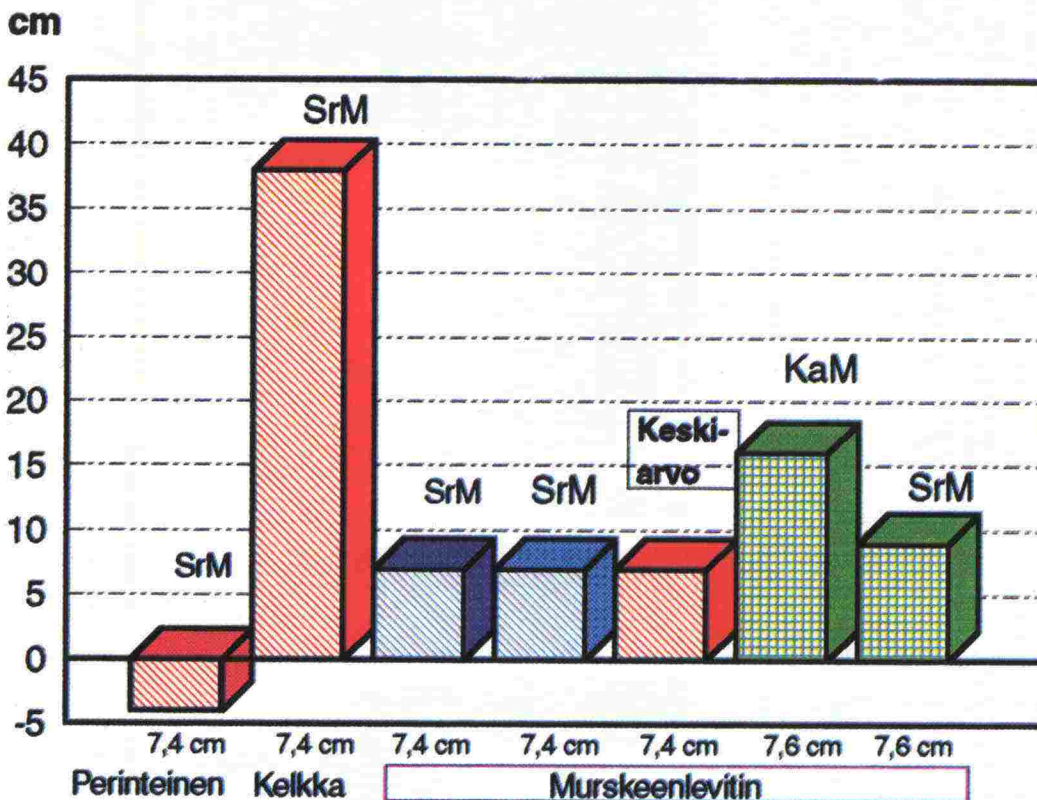
### 5.5.3 Kerroksen leveydet

Kerroksen leveydet mitattiin 20 m:n välein ja niiden lukumäärä vaihtelee jaksojen pituuden mukaan 26 - 71 kpl/koealue.

Taulukko 4: Rakennetun kerroksen leveydet koealueittain.

Pvm	Menetelmä/ laite		Tavoite (m)	Mittaus- piste (kpl)	Vaihtelu- alue (m)	Ka (m)	Hajonta ± (m)
22.7.	Perinteinen	SrM	7,40	71	6,80-8,10	7,36	0,27
31.7.	Levitinkelkka	SrM	7,40	41	7,50-8,02	7,78	0,15
3.8.	Murskeenlevitin	SrM	7,40	41	7,20-7,70	7,47	0,10
12.8.	Murskeenlevitin	SrM	7,40	36	6,90-7,80	7,47	0,19
18.8.	Murskeenlevitin	KaM	7,60	26	7,37-7,97	7,76	0,10
18.8.	Murskeenlevitin	SrM	7,60	28	7,54-7,94	7,69	0,10

Perinteisen menetelmän osuudella mitattujen leveyksien hajonta on suurin, mutta keskimääräisesti hieman alittaa tavoitteen. Tällainen epätarkkuus on tyypillistä ko. menetelmälle. Sen sijaan kelkkaosuudella kaikki mittaukset ylittävät tavoitteen ja keskimääräinen ylitys on huomattavan suuri. Tämä johtuu laitteen rakenteen aiheuttamasta huonosta näkyvyydestä ja syntyneestä epätasaisesta kerroksen reunasta. Murskeenlevittimessä käytettiin ohjauslankaa ja laitteella on päästy suhteellisen lähelle tavoitetta, vaikka vähäistä hajontaa esiintyykin.



Kuva 16: Kerrosleveyksien keskimääräinen poikkeama.



## 5.5.4 Tasaisuusmittaustulokset

### Yleistä mittauksista

Koekohteiden kantavan kerroksen tasaisuus mitattiin Hämeen tiepiirin tai VTT:n palvelutasomittarilla (PTM-auto). Ohjelma tuottaa 100 m:n mittausjaksoa kohti laskettuna mm. seuraavat tiedot:

- pituussuuntainen tasaisuus (IRI)
- suodatettu pituussuuntainen tasaisuus (IRI4)
- pituusprofiilin poikkeamaindeksi (PI)
- 10 mm suuremmat pituussuuntaiset poikkeamat

Mittaukset suoritettiin tulosten luotettavuuden varmistamiseksi kahteen kertaan.

### Mittaustulokset

Mittaustuloksiin vaikuttaa negatiivisesti yleisen liikenteen kulku levitetyn kerroksen päällä ennen tasaisuusmittauksia. Päällystämisen ajoittaminen heti kantavan kerroksen rakentamisen yhteyteen edesauttaisi tasaisempaa kantavaa kerrosta.

Mitatut IRI-keskiarvot vaihtelivat välillä 3.0 - 4.4 mm/m kohteiden neljän mittauksen keskiarvojen ollessa 3.3. - 4.3. mm/m. Vastaavat yksittäisten mittausten IRI4-keskiarvot vaihtelivat 2.4. -3.5 mm/m ja kohteiden keskiarvot 2.5. - 3.4 mm/m.

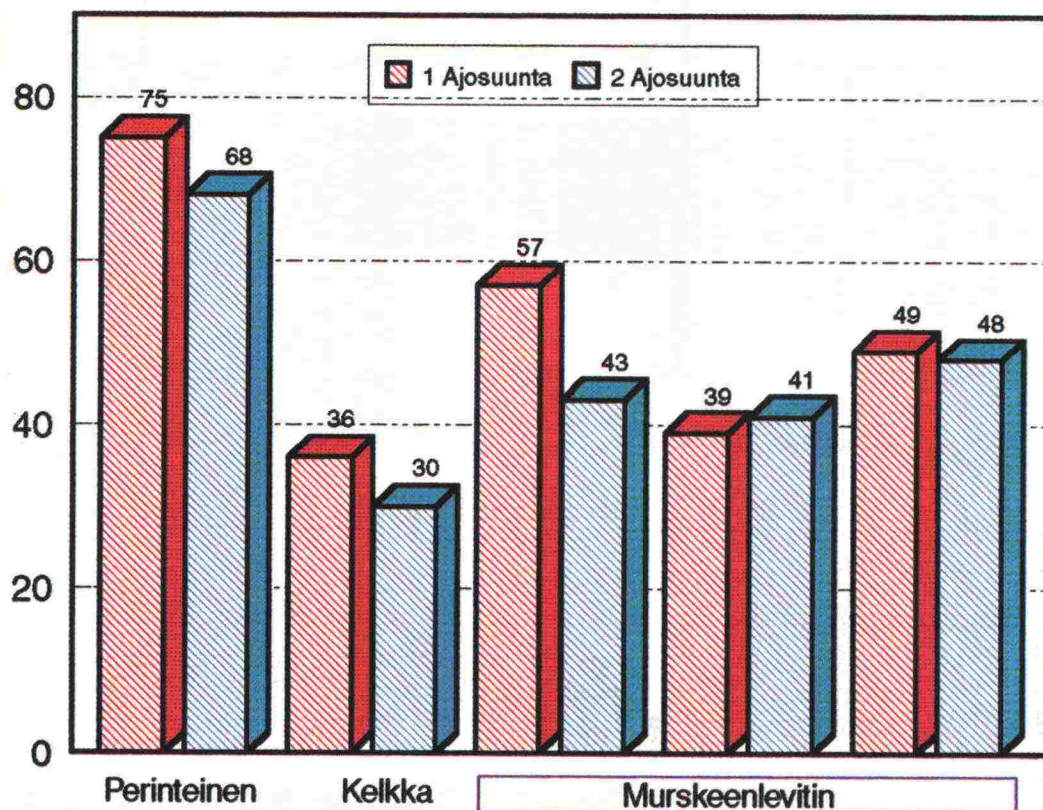
Kantavan kerroksen päältä mitattuja tasaisuuksia voidaan pitää **enintään tyydyttävänä**.

**IRI-arvojen** perusteella tasaisin kantava kerros saatiin aikaan levitinkelkalla (SrM 0 - 45 mm, koeosuus 2) ja murskeenlevittimellä KaM 0 - 45 mm, koeosuus 5). Mitatut IRI- ja IRI4-keskiarvot olivat 3.3. ja 2.5 sekä 3.6 ja 2.8. Perinteisellä menetelmällä (SrM 0 - 45 mm, koeosuus 1) tehdyllä osuudella oli selvästi eniten lyhytaaltoista epätasaisuutta ja suuria oikolautapoikkeamia.

**Poikkeamaindeksin** ja luokiteltujen **suurien poikkeamien** perusteella tasaisimmat menetelmät olivat levitinkelkka (SrM 0 - 45 mm, koeosuus 2) ja murskeenlevitin (SrM 0 - 45 mm, koeosuus 4). Perinteinen menetelmä (koeosuus 1) oli kaikista huonoin. (kuva 17)

PTM-auton LAATU-ohjelma sopii erittäin hyvin pidempien homogeenisten päällystettyjen tieosuuksien tasaisuuden laadun seurantaan. Sorapäällysteiden ja rakennekerrosten tasaisuuden arviointi on toistaiseksi vaikeampaa, koska vertailumittauksia ja vertailuarvoja ei ole riittävästi käytettävissä. **Kohteiden keskinäistä järjestystä on kuitenkin helppo arvioida normaalien mittaustulosten perusteella.**

## Poikkeamaindeksi



Kuva 17: Poikkeamaindeksi, keskiarvo ajoilla 1 ja 2.

### 5.5.5 Pintalajittumat.

Lajittumat neliöitiin aina kahden tutkijan läsnä ollessa.

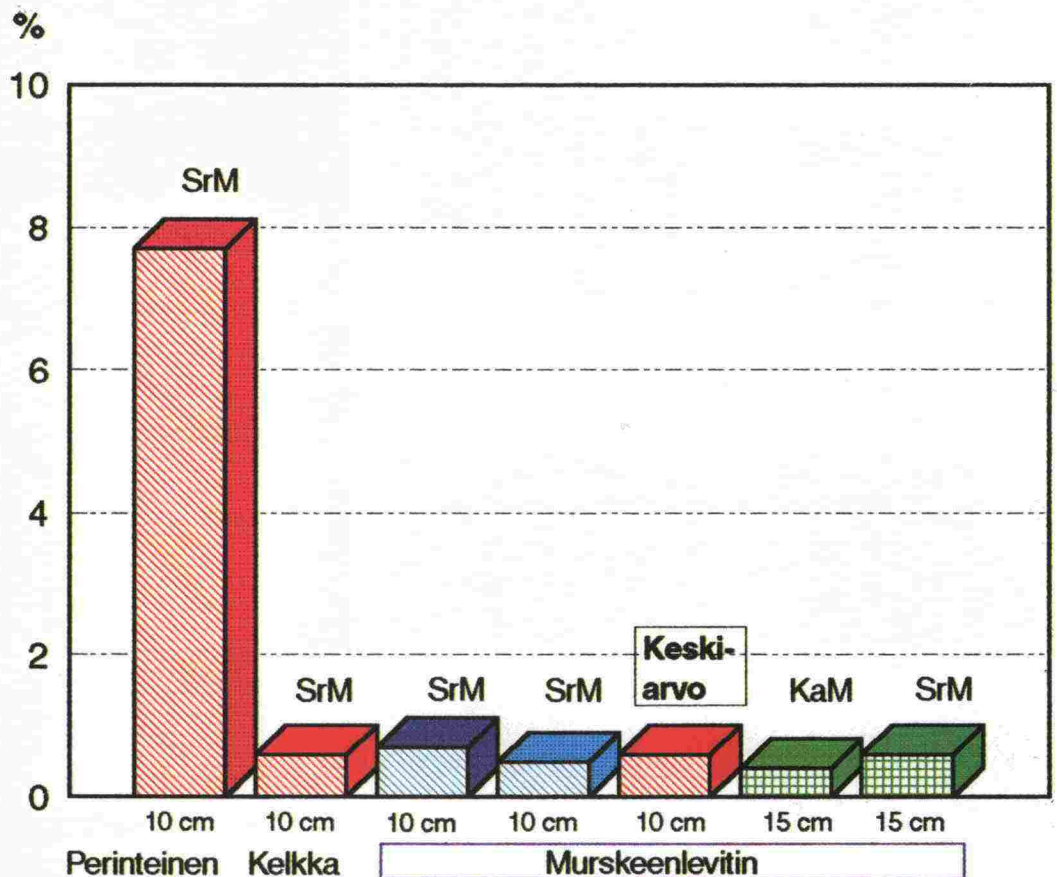
Taulukko 5: Lajittumat koealueittain.

Pvm	Menetelmä/ laite	Kokonaisala (m <sup>2</sup> )	Lajittumaa	
			m <sup>2</sup>	%
22.7.	Perinteinen SrM	10 451	807,0	7,7
31.7.	Levitinkelkka SrM	5 920	37,0	0,6
3.8.	Murskeenlevitin SrM	5 920	42,0	0,7
12.8.	Murskeenlevitin SrM	5 180	23,5	0,5
18.8.	Murskeenlevitin KaM	3 800	14,0	0,4
18.8.	Murskeenlevitin SrM	4 104	25,0	0,6

Periteisen menetelmän jaksolla pintalajittumaa on mitattu lähes 8 % kokonaisalasta, kun taas muiden menetelmien kohdalla vastaava luku on vain noin 0,5 %. Laadullisesti tulos on merkittävä, sillä lajittuneen kerroksen on todettu kestävän homogeenista rakennetta vähemmän. Lajittumien myöhempi sekoitus materiaalin lisäyksineen on vaikeaa ja kallista, mutta viikkoja jatkuneesta kunnossapidosta sitä ei voi erottaa.



Yleensä lajittumaa syntyy jo kuljetusvaiheessa kuten kuormauksessa ja kipatessa. Esimerkiksi pitkälavainen auto lajitaa herkemmin kuin vastaava lyhytlavainen. Lajittumista tulisikin voida eliminoida levitysvaiheessa, mikä jossain määrin onnistui murskeenlevittimen etuluukkuja säätämällä. Sen sijaan muilla menetelmillä sekoitusmahdollisuudet ovat vähäiset.



Kuva 18: Lajittumien prosentuaalinen jakauma.

### 5.5.6 Silmämääräinen tarkastelu.

Levitystyön aikana suoritettiin silmämääräistä tarkastelua siten, että voitaisiinko kohde välittömästi päällystää. Tutkijoiden näkemyksen mukaan ainoastaan murskeenlevittimellä tehty kalliomurskejakso olisi ollut päällystettävissä heti levittämisen jälkeen. Muilla jaksoilla oli paikoittaista höyläystarvetta. Levityskelkan osuudella oli lähes jatkuvaa keskisauman tasaamista ja perinteisen menetelmän jaksolla materiaalin lisäys- ja höyläystarvetta.





Kuva 19: Levityksen jälkeinen suora keskisauma ja tasainen ensimmäisen kaistan pinta.



Kuva 20: Epäonnistunutta keskisauman tekoa.

## 5.6 Lisätyön tarve.

Kustannuslaskelmat osoittavat, että mitattu lisätyöntarve on ollut vähäinen ja esimerkiksi levityskelkalla sitä ei olisi ollut lainkaan. Toisaalta mitatut

pintalajittumat ja silmämääräinen tarkastelu osoittavat, että reunojen oikomista ja höyläystarvetta olisi ollut, mutta noin viikon kestäneestä kohteiden kunnossapidosta näitä lisätyökustannuksia ei voi erottaa.



Kuva 21: Levityksen jälkeistä epätasaista reunaa.

## 5.7 Loppulause

Molemmat levitintyömenetelmät ovat sekä laadun että kustannusten suhteen edullisempia kuin perinteinen menetelmä.

Itsekulkevalla levittimellä saadaan huolellista työtapaa noudattaen päällystettäväksi kelpaava kantava kerros. Optimaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi levitys- ja päällystystyö tulee tahdistaa siten, että päällystäminen suoritetaan välittömästi kantavan kerroksen levittämisen jälkeen ja levitetty kaista suljetaan yleiseltä liikenteeltä. Tällöin kantavan kerroksen levityskapasiteetti määräytyy päällystyskaluston etenemisnopeuden mukaan.



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 64/1992 Bitumiemulsiokoetiet. TIEL 3200114
- 65/1992 Liikenteen ja maankäytön vuorovaikutus vt 3:lla välillä Helsinki-Tampere. TIEL 3200115
- 66/1992 Kouvolan pohjoisen ohikulkutien vaikutukset maankäyttöön. TIEL 3200116
- 67/1992 Keskushallinnon organisaation uudistaminen, loppuraportti. TIEL 3200117
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT); Perussuunnitelma TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1991-1992. TIEL 3200119
- 70/1992 Nastojen, hiekoituksen ja suolauksen aiheuttama pöly ja sen leviäminen ympäristöön, kirjallisuusselvitys. TIEL 3200120
- 71/1992 TAM-Tien Arvon Mittausmenettelyn käyttö. TIEL 3200124
- 72/1992 Yleisten teiden liikenneturvallisuus taajamissa. TIEL 3200122
- 73/1992 Liikkuvan koneen paikantaminen servo-ohjatulla takymetrillä. TIEL 3200123
- 74/199 Kuljettajien mielipiteet talviajan nopeusrajoituksista helmikuussa 1992. TIEL 3200125
- 75/1992 Taajamaväylän saneerauksen vaikutukset; Hankasalmen ja Kauhavan liikenneturvallisuuden sekä Hankasalmen liikenneolosuhteiden kehitys TIEL 3200128.
- 76/1992 Yleisten teiden ympäristön tilan selvitys; Ilmanlaatu. TIEL 3200128
- 77/1992 Raskaan liikenteen haastattelututkimus Etelä-Suomen punnitusteillä.
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/LASER). TIEL 3200134
- 1/1993 Arktinen tien rakentaminen. TIEL 3200121
- 2/1993 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Massanvaihto. TIEL 3200127
- 3/1993 ISATA-raportti. TEIL 3200129
- 4/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa A: Teoria, käytäntö ja soveltuvuus Suomeen. TIEL 3200130
- 5/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa B: Automaattisen perintäteknologian soveltuvuus Suomen moottoriväylille. TIEL 3200131
- 6/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa C: Selvitys Turunväylän ja Lahdentien rakentamisesta tullirahoituksella. TIEL 3200132
- 7/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa D: Parainen-Nauvo kiinteä yhteys tullitienä. TIEL 3200133